

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2003年 1月21日

出 願 番 号
Application Number:

特願2003-012133

[ST.10/C]:

[JP2003-012133]

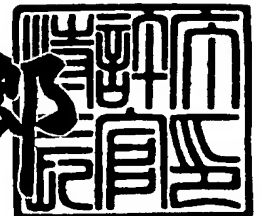
出 願 人
Applicant(s):

北海道大学長

2003年 6月11日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3045428

【書類名】 特許願

【整理番号】 U2002P136

【提出日】 平成15年 1月21日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 H02K 44/08

【発明の名称】 M H D 単独高効率発電方法およびシステム

【請求項の数】 3

【発明者】

 【住所又は居所】 北海道札幌市清田区北野 6 条 5 丁目 1 0 番 1 9 号

 【氏名】 粥川 尚之

【発明者】

 【住所又は居所】 北海道札幌市厚別区もみじ台北 4 丁目 6 - 2 0 - 5 0 6

 【氏名】 王 永明

【特許出願人】

 【識別番号】 391016923

 【氏名又は名称】 北海道大学長 中村 睦男

【代理人】

 【識別番号】 100072051

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 杉村 興作

【選任した代理人】

 【識別番号】 100059258

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 杉村 暁秀

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9709279

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 MHD単独高効率発電方法およびシステム

【特許請求の範囲】

【請求項1】 MHD発電装置のMHD発電機からの排ガスの廃熱を石炭ガス化炉により石炭ガスの化学エネルギーに転換する熱化学的炭化工程と、

前記炭化炉を経た前記排ガスの廃熱を燃料予熱器により石炭ガス燃料の顕熱として回収する予熱工程と、

前記燃料予熱器を経た前記排ガスの廃熱を沃素－硫黄反応により水素エネルギーに転換する沃素－硫黄反応工程と、

の三段階の工程で、MHD発電機の高温度の排ガスの廃熱を化学エネルギーと燃料の顕熱として回収し、

その回収したエネルギーを前記MHD発電装置の燃焼器へ再循環させて石炭ガス燃料を純酸素で燃焼させることを特徴とする、MHD単独高効率発電方法。

【請求項2】 二酸化炭素を含まない石炭ガスと水素との混合燃料を純酸素により燃焼させる燃焼器と、その燃焼プラズマを動作流体として発電するMHD発電機とを有するMHD発電装置と、

前記MHD発電機からの高温の排ガスの廃熱で石炭と水とを、二酸化炭素と水分とを含む混合炭化ガスに改質する炭化炉と、

前記炭化炉からの混合炭化ガスと前記MHD発電機からの高温の排ガスを混合した高温の混合炭化ガスの廃熱で、前記混合燃料を予熱する燃料予熱器と、

前記燃料予熱器からの混合炭化ガスの廃熱で、水を沃素－硫黄反応により、前記二酸化炭素を含まない石炭ガスに混合する水素と、前記燃焼器に送る酸素とに分解する沃素－硫黄反応装置と、

前記沃素－硫黄反応装置から排出されフィルターを通して不純物を除去された混合炭化ガスから加圧および断熱膨張により二酸化炭素を液化除去して、前記二酸化炭素を含まない石炭ガスを得る二酸化炭素／燃料分離装置と、

を具備する、MHD単独高効率発電システム。

【請求項3】 前記沃素－硫黄反応装置は、前記燃料予熱器からの混合炭化ガス

の廃熱で、前記二酸化炭素を含まない石炭ガスを予熱することを特徴とする、請求項 2 記載の MHD 単独高効率発電システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、発電資源として石炭を用い、その石炭の燃焼プラズマを動作流体とする MHD (magnetohydrodynamics: 電磁流体力学) 発電の方法およびシステムに関し、特に、MHD 単独で高効率の発電を行う方法およびシステムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

燃焼器で発生させた燃焼プラズマを MHD 発電機に通して発電する MHD 発電装置は、燃焼プラズマを動作流体とする最も高温の熱機関であり、通電性を有するプラズマ状態を生成する必要上、その動作温度の下限は約 2000℃ である。それゆえ、2000℃ 以下のエネルギーを無駄にせず電力として有効に取り出すために、MHD 発電装置およびそれを作動させるための周辺機器を含む従来の MHD 発電システムは、蒸気タービンサイクルを併用する「MHD-蒸気複合サイクル」を基本設計概念として構成されていた。

【0003】

また従来の MHD 発電システムは、燃焼プロセスとしては空気を酸化剤とする燃焼を主としており、高温の燃焼温度を実現するために空気を MHD 発電機の廃熱で予熱していた。すなわちそこでは、MHD 発電機の廃熱の一部が予熱空気として燃焼器へ再循環され、残りが蒸気サイクルへ循環して発電に寄与するというエネルギーフローが基本であった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながらかかるサイクルでは、第 1 に、蒸気サイクルの効率により、蒸気サイクルでエネルギーの 1/2 以上が冷却水へ無駄に放出されること、第 2 に、MHD 発電装置の燃焼器への再循環エネルギーが少ないため高い燃焼温度を得る

ことが難しいこと、従って酸素富化が必要であり、結果的に50～55%の全体効率しか期待できないこと、第3に、空気燃焼であるため燃焼生成物に多数の窒素酸化物が含まれ、NO_x 対策と共に二酸化炭素の分離回収を著しく困難にしていること、といった問題点がある。

【0005】

さらに、従来の石炭燃焼型MHD発電システムでは、酸素富化空気と石炭とを直接混合して燃焼させる方法が採られている。この場合、固体石炭灰粒子の熱輻射損失が大きいことからプラズマの温度ひいては電気伝導率が低くなり、大出力発電のためには大規模な発電機を要するので経済性に問題があること、また熔融石炭灰が機壁に付着して発電機壁の耐久性を著しく下げること、といった問題点もある。

【0006】

それゆえこの発明は、石炭を発電資源に用いながら、従来のMHD発電システムでは解決が困難とされる上記の諸問題を解消し、かつ二酸化炭素の完全液化回収が可能で、従来のMHD発電システム、新鋭ガスタービン発電システム、その他如何なる複合発電システムよりも高効率なMHD単独発電システムを提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成する請求項1記載のこの発明のMHD単独高効率発電方法は、MHD発電装置のMHD発電機からの排ガスの廃熱を石炭ガス化炉により石炭ガスの化学エネルギーに転換する熱化学的炭ガス化工程と、前記石炭ガス化炉を経た前記排ガスの廃熱を燃料予熱器により前記石炭ガス燃料の顕熱として回収する予熱工程と、前記燃料予熱器を経た前記排ガスの廃熱を沃素－硫黄反応により水素エネルギーに転換する沃素－硫黄反応工程と、の三段階の工程で、MHD発電機の高温度の排ガスの廃熱を化学エネルギーと燃料の顕熱として回収し、その回収したエネルギーを前記MHD発電装置の燃焼器へ再循環させて石炭ガス燃料を純酸素で燃焼させることを特徴とするものである。

【0008】

また、請求項 2 記載のこの発明の MHD 単独高効率発電システムは、二酸化炭素を含まない石炭ガスと水素との混合燃料を純酸素により燃焼させる燃焼器と、その燃焼プラズマを動作流体として発電する MHD 発電機とを有する MHD 発電装置と、前記 MHD 発電機からの高温の排ガスの廃熱で石炭と水とを、二酸化炭素と水分とを含む混合石炭ガスに改質する石炭ガス化炉と、前記石炭ガス化炉からの混合石炭ガスと前記 MHD 発電機からの高温の排ガスとを混合した高温の混合石炭ガスの廃熱で、前記混合燃料を予熱する燃料予熱器と、前記燃料予熱器からの混合石炭ガスの廃熱で、水を沃素－硫黄反応により、前記二酸化炭素を含まない石炭ガスに混合する水素と、前記燃焼器に送る酸素とに分解する沃素－硫黄反応装置と、前記沃素－硫黄反応装置から排出されフィルターを通して不純物を除去された混合石炭ガスから加圧および断熱膨張により二酸化炭素を液化除去して、前記二酸化炭素を含まない石炭ガスを得る二酸化炭素／燃料分離装置と、を具えてなるものである。

【 0 0 0 9 】

なお、この発明の MHD 単独高効率発電システムにおいては、前記沃素－硫黄反応装置が、前記燃料予熱器からの混合石炭ガスの廃熱で、前記二酸化炭素を含まない石炭ガスを予熱することとすると、より高効率となるので好ましい。

【 0 0 1 0 】

【発明の実施の形態】

以下に、この発明の実施の形態を実施例によって、図面に基づき詳細に説明する。ここに、図 1 は、この発明の MHD 単独高効率発電方法の一実施例を行うための、この発明の MHD 単独高効率発電システムの一実施例を示すシステム構成図、図 2 は、その実施例の MHD 発電システムの MHD 発電機効率とシステム効率との関係を示す関係線図である。

【 0 0 1 1 】

図 1 に示す上記実施例の MHD 発電システムは、主な構成要素として、燃焼器 1 a と MHD 発電機 1 b とデフューザー 1 c とを有する MHD 発電装置 1 と、水注入型高温石炭ガス化炉 2 と、蓄熱型燃料予熱器 3 と、沃素－硫黄反応装置としての IS システム 4 と、フィルター 5 と、二酸化炭素／燃料分離装置としての圧縮

－膨張型 CO_2 ／燃料分離システム 6 と、酸素製造装置 7 とを具えている。

【 0 0 1 2 】

この実施例の MHD 発電システムにあっては、 CO_2 ／燃料分離システム 6 で二酸化炭素から分離された体積比約 2 : 1 の一酸化炭素と水素とを主成分とする石炭ガス燃料が、IS システム 4 で水の分解により製造される水素と混合された後、蓄熱型燃料予熱器 3 を通って約 2000°C に加熱されてから MHD 発電装置 1 の燃焼器 1 a に投入される。燃焼器 1 a での燃焼用の酸素は、IS システム 4 の生成物および別途酸素製造装置 7 で空気分離により製造される液化酸素である。

【 0 0 1 3 】

すなわち、この実施例の MHD 発電システムによる、上記実施例の MHD 発電方法は、以下のような工程によって MHD 発電を行う。MHD 発電装置 1 の燃焼器 1 a では、図 1 では最下段に示す CO_2 ／燃料分離システム 6 から蓄熱式燃料予熱器 (Preheater) 3 を通して送られてくる、石炭ガス燃料 (一酸化炭素および水素) と IS システム 4 での沃素－硫黄反応プロセス (IS プロセス) で生産される水素との混合燃料を、純酸素で燃焼させる。なお、IS システム 4 で生産される水素は、蓄熱式燃料予熱器 3 に入る前の段階で、 CO_2 を含まない CO と H_2 からなる上記石炭ガス燃料に混ぜ合わされる。

【 0 0 1 4 】

MHD 発電はプラズマで動作するので、燃焼器 1 a では、燃焼ガスに電気伝導性を持たせるように少量の炭酸カリウム (K_2CO_3) をシードとして添加する。このシードは、高温で熱分解 (解離) し、さらにカリウムが電離して、電子と K イオンになる。

【 0 0 1 5 】

燃焼器 1 a 内で燃焼プラズマとなった燃焼ガスは、MHD 発電機 1 b 内を通過してそこで MHD 発電を行わせる。MHD 発電機 1 b を出た高温の燃焼ガス (MHD 排ガス) は、デフューザー (Diffuser) 1 c で圧力を回復するとともに、図示しない蒸気サイクルへ適量の熱を分け与える。蒸気タービンおよびそれによって駆動する発電機等からなるこの蒸気サイクルは、その蒸気サイクルへの熱分配が無いとすると燃焼温度が実際上高くなりすぎる場合があるため付加しているも

のであり、その主目的は燃焼温度の制御であるが、効率の改善にも資することができる。

【 0 0 1 6 】

デフューザー 1 c を出た MHD 排ガスはその全体を 1 としたときの α (1 未満の所定数) の割合の部分と $1 - \alpha$ の割合の部分との二つに分けられ、その一方である α 割合の部分は石炭ガス化炉 2 に入り、他方である $1 - \alpha$ 割合の部分は石炭ガス化炉 2 を迂回する。これは以下の理由による。石炭ガス化炉 2 の役目は、石炭を MHD 発電動作のための気体燃料としての石炭ガスに改質することで高温の MHD 廃熱を化学エネルギーとして回収すると同時に、残った石炭灰 (スラグ) を下流の工程での操作のために除去するというものである。石炭投入量は決まっているので回収できる熱は一定であり、従ってガス化段階におけるガス温度の低下量は定まっている。そこで、石炭ガス化炉 2 の出口温度が石炭灰の融点以上でかつ蒸発温度以下 (例えばここでは 1700 K) になるように α 割合を設定してガス分離を行う。

【 0 0 1 7 】

石炭ガス化炉 2 を出た MHD 排ガスと石炭ガスとの混合ガス (CO , H_2 , CO_2 , H_2O および K_2SO_4) は、石炭ガス化炉 2 を迂回した高温の MHD 排ガスと混合されて燃料予熱器 3 へ入る。それゆえ燃料予熱器 3 の入口のガス温度は 1700 K より高い。この燃料予熱器 3 において下流の CO_2 / 燃料分離システム 6 から送られてくる CO , H_2 (H_2 はガス化炉 2 で生産する水素と IS システム 4 で水の分解により生産される水素との和) 混合ガス燃料を加熱する過程で、一定量の熱がその混合ガス燃料に渡され、MHD 排ガスと石炭ガスとの混合ガスは更に温度を下げる。約 1300 K 程度まで温度が下がったガスは最後に IS システム 4 に入って IS プロセスでの沃素と硫黄の合成・分解反応に熱を与え、結果的に、IS システム 4 の外部から注入する水を水素と酸素に分解する。すなわちこの段階で、最後に残った MHD 廃熱により IS システム 4 の効率に見合う水素が生産されて、MHD 廃熱が水素の化学エネルギーとして再生される。なお、IS システム 4 で同時に生産される酸素は、昇圧されて燃焼器 1 a へ送られる。

【 0 0 1 8 】

ISシステム4を出たMHD排ガスと石炭ガスとの混合ガスは、ほぼ1気圧で、100℃以下であり、そこに含まれる水蒸気は水になっている。そこで先ず、この混合ガスからフィルター5で、水分および、石炭中の硫黄とシードとの反応でできた K_2SO_4 が取り除かれ、その後この混合ガス(CO , H_2 , CO_2)は、 CO_2 /燃料分離システム6の、モーター(M)6aで駆動する圧縮機(CP)6bで気相のまま(理想過程として)温度一定で約50気圧に加圧され、次にタービン(T)6cで断熱的に約10気圧まで膨張して約224 Kまで温度を下げる。この時のタービン出口温度(224K)は、 CO_2 の液化温度以下であるが、 CO と H_2 の液化温度よりは高い。従って、 CO_2 は CO_2 分離器6eで液体として取り除かれ、深層あるいは深海へ貯留される。

【0019】

CO_2 /燃料分離システム6を出た石炭ガス燃料(CO および H_2)は、224 Kから室温近くまでISシステム4の廃熱で予熱された後、蓄熱型燃料予熱器3を經由してMHD発電装置1の燃焼器1aへ戻り、酸素で燃焼する。このように酸素で燃焼させる理由は、生成物が実質的に CO_2 と H_2O のみであり、高温での石炭熱分解型ガス化に都合が良いことと、 CO_2 の分離回収が容易なこととの二つの理由による。

【0020】

この実施例のMHD発電システムの構成機器およびこの実施例のMHD発電方法の工程は、現在の技術レベルで実施可能であり、ブレークスルーを期待しなければならないような性能は必要としない。すなわち、MHD発電装置1に関しては、旧ソ連の天然ガス燃焼型50万kW発電所の建設計画を始め、米国における1万5千kW石炭燃焼MHD発電開発実績等多くの実績がある。また高温石炭ガス化炉2に関しては、過去に米国AVCO社においてMHD燃焼ガスを模擬した実験研究例と共に、石炭ガス化ガスタービン複合発電(IGCC)の開発に関連して研究開発が各国で実施されている。そして蓄熱型燃料予熱器3に関しては、石炭ガスを対象とした実績はないが、旧ソ連のMHD発電開発研究プロジェクトで2000℃までの空気加熱の実績がある。また、ISシステム4のISプロセスに関しては、MHD発電システムに組み込んだ例はないが、高温ガス冷却型原子炉の熱利用を目的とし

た開発研究が現在日本原子力研究所で実施されており、実用化の可能性が高いプロセスである。

【 0 0 2 1 】

図 2 に示すシステム効率、MHD 発電機 1 b の効率として 5 ～ 30 % (0.05 ～ 0.30)、IS システム 4 の IS プロセスの効率として 35 ～ 50 % (0.35 ～ 0.50) を想定して計算している。MHD 発電機 1 b の効率に関しては、旧ソ連で設計、一部建設が行われた U-500 発電所の 24.5 % が最大であり、算出基準としては現実的な技術範囲である。また、IS プロセスの熱効率としては、49 % の実績が報告されており、今後更に高い効率も期待される。そして、酸素製造動力は、現在の商用プラントの値を参考にしている。

【 0 0 2 2 】

但し、二酸化炭素を液化回収する CO_2 / 燃料分離システム 6 のプロセスに関しては実際の例がないので、ここでは新規に以下のプロセスを想定している。すなわち、フィルター 5 で水分と固体粒子 (硫化カリウム K_2SO_4) を除去した石炭ガス (CO と H_2) と CO_2 との混合ガスは、上述したように、先ず圧縮機 6 b により等温 (82℃) の下で 1 気圧から 50 気圧へ昇圧され、次に圧力タービン 6 c により 50 気圧から 10 気圧へ断熱的に膨張する。これにより混合ガス温度は、10 気圧における二酸化炭素の液化温度 -39℃ 以下の -49℃ になり、二酸化炭素は液化分離される。一方、一酸化炭素と水素はこの温度、圧力では液化しないので膨張を続け、タービン 6 c と同軸のターボ発電機 6 d から圧力降下に応じた電力が取り出される。それゆえこの実施例のシステムでは、二酸化炭素の液化分離は比較的低動力で行うことが可能であり、このことは、MHD 燃焼プロセスを酸素燃焼とすることによって可能となっている。

【 0 0 2 3 】

従って、この実施例の MHD 発電方法およびこの実施例の MHD 発電システムによれば、蒸気サイクルを用いずに MHD 単独で発電システムを構成しているので、蒸気サイクルでエネルギーの 1 / 2 以上が冷却水へ無駄に放出されるということがなく、しかも MHD 発電装置 1 の燃焼器 1 a への再循環エネルギーが多いので、60 % を超える全体効率を期待でき、さらに、純酸素燃焼であるので燃焼生

成物に窒素酸化物が含まれないため、NO_x 対策を不要にし得ると共に、二酸化炭素の分離回収も液化によって容易に行うことができる。

【0024】

さらに、この実施例のMHD発電方法およびこの実施例のMHD発電システムによれば、石炭ガスを純酸素で燃焼させるため、石炭をそのまま燃焼させる場合の固体石炭灰粒子の熱輻射損失がないことから、プラズマの温度ひいては電気伝導率を高めることができるので、小規模の発電機で大出力発電を行い得て経済性を高めることができる。また熔融石炭灰が機壁に付着して発電機壁の耐久性を著しく下げるといってもないので、発電機の耐久性を高めることができる。

【0025】

以上、図示例に基づき説明したが、この発明は上述の例に限定されるものでなく、特許請求の範囲の記載の範囲内で適宜変更することができるものである。

【0026】

【発明の効果】

かくしてこの発明のMHD発電方法およびMHD発電システムによれば、石炭を発電資源に用いながら、従来のMHD発電システムでは解決が困難とされる前述の諸問題を解消し、かつ二酸化炭素の完全液化回収が可能で、従来のMHD発電システム、新鋭ガスタービン発電システム、その他如何なる複合発電システムよりも高効率な発電システムをもたらすことができる。

【0027】

そしてこのことにより期待されるこの発明のMHD発電方法およびMHD発電システムの効果は、以下の通りである。

(イ) エネルギー科学技術における効果としては、酸素燃焼技術の発展、クリーンコール技術の発展、水素製造技術の発展およびガス分離技術の発展をもたらすことができる。

(ロ) 経済効果としては、単機高効率発電システムであるため、在来の複合発電と比較して大幅な建設コスト、電力コストの低減をもたらすことができる。

ハ) 社会的効果としては、環境負荷の低減、地球温暖化対策技術の発展、省資源効果および石炭資源利用によるエネルギーの長期安定確保効果をもたらすこと

ができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 この発明の M H D 単独高効率発電方法の一実施例を行うためのこの発明の M H D 単独高効率発電システムの一実施例を示すシステム構成図である。

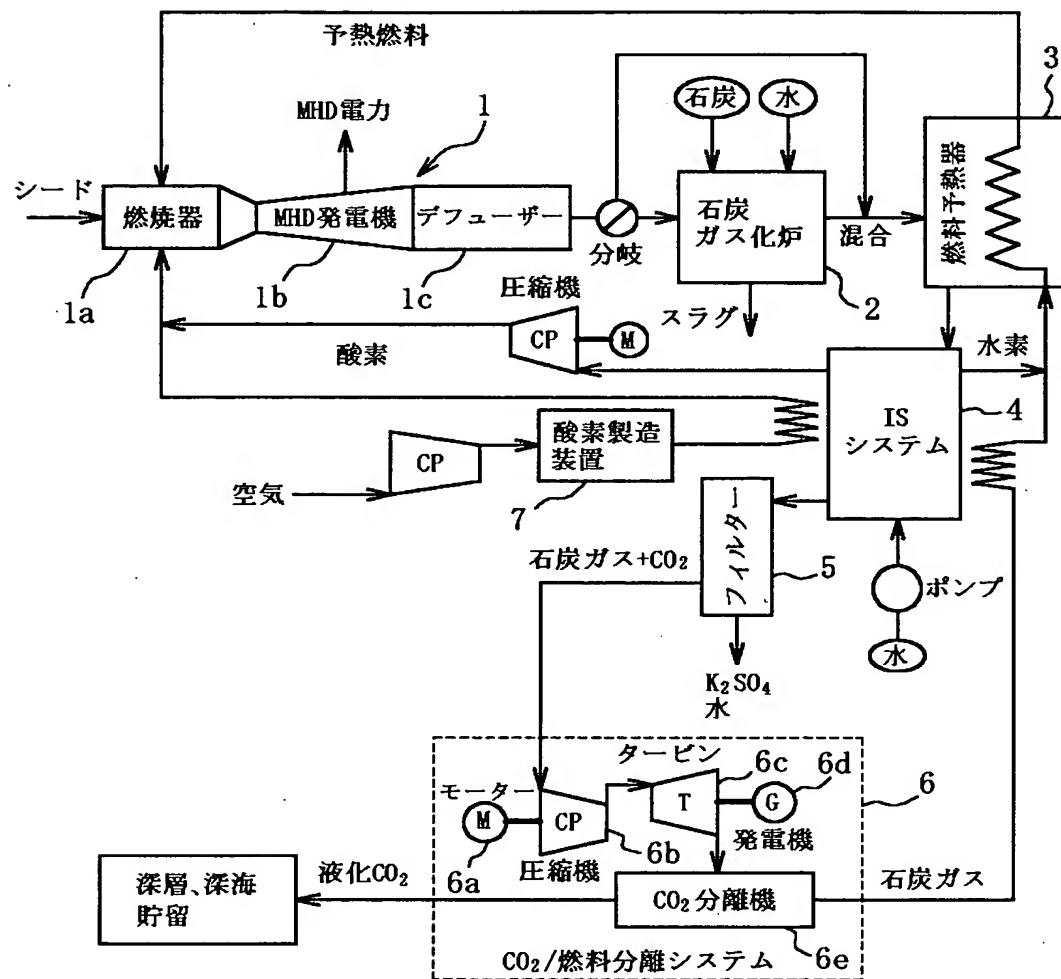
【図 2】 上記実施例の M H D 発電システムの M H D 発電機効率とシステム効率との関係を示す関係線図である。

【符号の説明】

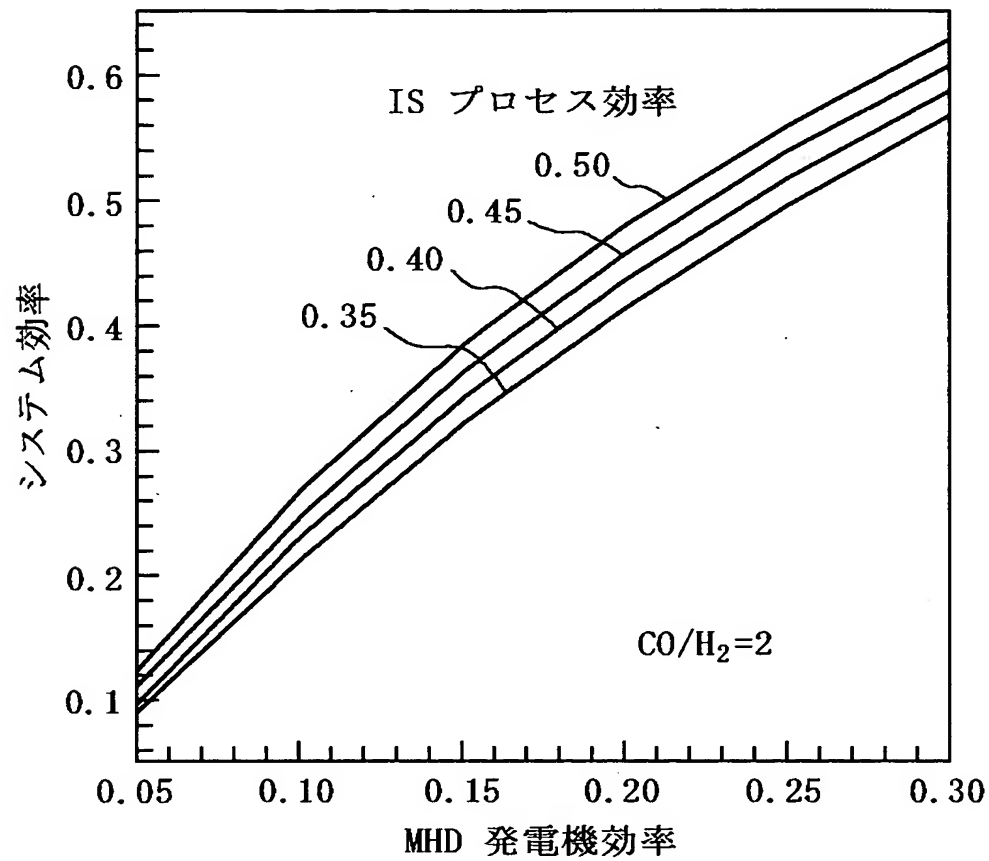
- 1 M H D 発電装置
 - 1 a 燃焼器
 - 1 b M H D 発電機
 - 1 c デフューザー
- 2 石炭ガス化炉
- 3 燃料予熱器
- 4 IS システム
- 5 フィルター
- 6 CO₂ / 燃料分離システム
 - 6 a モーター
 - 6 b 圧縮機
 - 6 c タービン
 - 6 d 発電機
 - 6 e CO₂ 分離器

【書類名】 図面

【図 1】



【図 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 石炭を発電資源に用いながら高効率な発電システムをもたらすことにある。

【解決手段】 MHD発電装置 1 のMHD発電機 1 bからの排ガスの廃熱を石炭ガス化炉 2 により石炭ガスの化学エネルギーに転換する熱化学的炭化工程と、前記炭化炉 2 を経た前記排ガスの廃熱を燃料予熱器 3 により炭化燃料の顕熱として回収する予熱工程と、前記燃料予熱器 3 を経た前記排ガスの廃熱をISシステム 4 での沃素－硫黄反応により水素エネルギーに転換する沃素－硫黄反応工程と、の三段階の工程で、MHD発電機 1 b の高温度の排ガスの廃熱を化学エネルギーと燃料の顕熱として回収し、その回収したエネルギーを前記MHD発電装置 1 の燃焼器 1 a へ再循環させて炭化燃料を純酸素で燃焼させることを特徴とするMHD単独高効率発電方法である。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2003-012133
受付番号	50300087797
書類名	特許願
担当官	第三担当上席 0092
作成日	平成15年 1月22日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	391016923
【住所又は居所】	北海道札幌市北区北8条西5丁目8番地
【氏名又は名称】	北海道大学長

【代理人】

申請人

【識別番号】	100072051
【住所又は居所】	東京都千代田区霞が関3-2-4 霞山ビル7階
【氏名又は名称】	杉村 興作

【選任した代理人】

【識別番号】	100059258
【住所又は居所】	東京都千代田区霞が関3-2-4 霞山ビル7階
【氏名又は名称】	杉村 暁秀

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [391016923]

1. 変更年月日 1991年 1月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 北海道札幌市北区北8条西5丁目8番地

氏 名 北海道大学長